

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-64792

(43)公開日 平成10年(1998) 3月6日

(51)Int.Cl.<sup>9</sup>H 0 1 L 21/027  
21/00

識別記号

庁内整理番号

F I

H 0 1 L 21/30  
21/00

技術表示箇所

5 0 2 G

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 7 頁)

(21)出願番号

特願平8-221357

(22)出願日

平成8年(1996) 8月22日

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 三本木 省次

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 井上 壮一

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

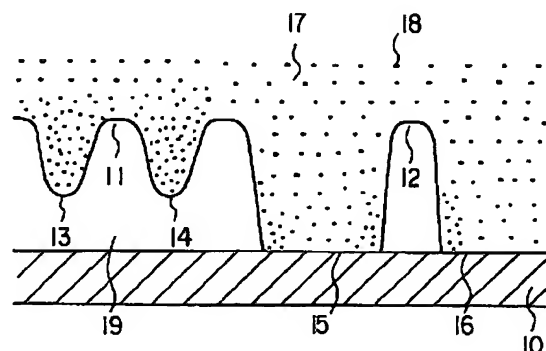
(74)代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

(54)【発明の名称】 形状シミュレーション方法

(57)【要約】

【課題】 パターンが孤立しているか密集しているかに拘らず、現像によるレジストの2次元及び3次元形状を正確にシミュレーションする。

【解決手段】 基板上的レジストを所望パターンに露光した後に現像することにより変化する該レジストの形状を予測する形状シミュレーション方法において、レジストの密集パターン11と孤立パターン12の各位置における潜像強度又は感光剤濃度の空間平均量に応じて、該位置におけるレジストの現像速度を変化させる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】基板上の被加工膜を物理的又は化学的に加工することにより変化する該被加工膜の形状を予測する形状シミュレーション方法において、前記被加工膜の所定位置における単位時間当たりの加工量及びこの加工により該被加工膜が周辺へ飛散する速度に応じて、該被加工膜の所定位置における加工速度を変化させることを特徴とする形状シミュレーション方法。

【請求項2】基板上の感光性膜を所望パターンに露光した後現像することにより変化する該感光性膜の形状を予測する形状シミュレーション方法において、前記感光性膜の所定位置における潜像強度又は感光剤濃度の空間平均量に応じて、該感光性膜の所定位置における加工速度を変化させることを特徴とする形状シミュレーション方法。

【請求項3】基板上の被加工膜を物理的又は化学的に加工することにより変化する該被加工膜の形状をシミュレーションするためのプログラムであって、前記被加工膜の所定位置における単位時間当たりの加工量及びこの加工により該被加工膜が周辺に飛散する速度に応じて、該被加工膜の所定位置における加工速度を変化させるように、コンピュータを制御するためのプログラムを格納したコンピュータ読取可能な記憶媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、形状シミュレーション技術に係わり、特に半導体素子等をリソグラフィ工程で製造する際の現像液によるレジストの溶解による形状変化等を予め予測し最適なレジストパターンを形成するための形状シミュレーション方法と、このシミュレーション方法を実現するためのプログラムを格納した記憶媒体に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体素子等をリソグラフィ工程で製造する場合には、レジスト（感光性膜）が塗布されたウェハ上にマスクパターンの像を投影した後、そのウェハを現像することにより、例えばポジ型レジストであれば露光量の多い部分のレジストが現像液により溶解し、レジストパターンが形成される。現像後のレジストパターンは、マスクパターンの像を投影する際のウェハのデフォーカス状態、露光条件（開口絞り、コヒーレンスファクタ、光源形状、瞳フィルタ等）、現像時間、更にはマスクパターンそのものによって種々に変形する。従って、所定の焦点深度を持つように所望パターンを仕上げるための投影光学系の条件及びマスクパターンを実験で求めるには、膨大な数の露光実験を行わなければならない。

【0003】そこで、コンピュータによるシミュレーションによって、現像後のレジスト形状が最良の状態となる条件を予め求めておくことが望ましい。このように現像後のレジスト形状を予測する手法は、レジスト形状シ

ミュレーションとして知られている。従来のレジスト形状シミュレーションの方法としては、種々の方法が提案されている。以下に、これらを簡単に説明する。

【0004】2次元的な形状のみを扱う場合にはレジストの形状を微小線分の連なりで、3次元的な形状を扱う場合にはレジストの形状を微小面素の連なりで表現し、微小線素又は微小面素の移動する方向は表面に垂直な方向とするストリング・モデルがある。これに対して、移動方向を光線の微分方程式と同様な微分方程式を解いて求める手法はレイ・トレーシング・モデルと呼ばれる。

【0005】物体を微小なセルの集合体に分割し、物体表面におけるセルの消失又は付着により形状変化を表現する手法であるセル・モデルも知られている。また、特開平6-176997号公報に示されているように、物体形状を分布関数の等値面で表し、形状の時間変化を拡散方程式に類似した微分方程式を解くことによって求める分布関数法もある。

【0006】また、簡易的な方法であるが、現像のプロセスをレジスト表面の最も溶解速度の速い点を始点として、基板に垂直な方向に現像が進み、ある距離進んだ点から基板に水平な方向に現像が進み、現像方向を切り替える点を基板に垂直な全ての点で起こるとして、終点の集合を現像後の形状とする簡易現像モデルも知られている。

【0007】しかながら、この種の方法にあつては次のような問題があつた。即ち、上記のような従来の技術においては、レジストの溶解速度は露光、レジストの感光特性及びプロセス条件にのみ依存するとしているか、これに加えて、レジストの溶解部での形状にのみ依存するとしている。例えば、孤立パターンと密集パターンとが混在する場合には、孤立パターンの周辺と周期パターンの周辺とで、現像液中に溶解したレジストの反応生成物の濃度、言い換えると現像液中の $\text{OH}^-$ 濃度が異なる。このため、孤立パターンの仕上がり寸法と密集パターンの仕上がり寸法とを同時に正確に予測できないという不都合があつた。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】このように従来、レジストパターンの形状を予測するために種々のシミュレーション方法が提案されているが、いずれの方法においても、孤立パターンの仕上がり寸法と密集パターンの仕上がり寸法とを同時に正確に予測することはできないという問題があつた。また、上記の問題はレジストパターンに限らず、被加工膜をエッチング等により加工する場合にも同様に言えることである。

【0009】本発明は、上記事情を考慮してなされたもので、その目的とするところは、パターンが孤立しているか密集しているかに拘らず、被加工膜の形状を正確に予測することのできる形状シミュレーション方法を提供することにある。また、本発明の他の目的は、上記のシ

ミュレーション方法をコンピュータ制御によって実現するためのプログラムを格納した記憶媒体を提供することにある。

#### 【0010】

##### 【課題を解決するための手段】

（構成）上記課題を解決するために本発明は、次のような構成を採用している。即ち本発明は、基板上の被加工膜を物理的又は化学的に加工することにより変化する被加工膜の形状を予測する形状シミュレーション方法において、前記被加工膜の所定位置における単位時間当たりの加工量及びこの加工により被加工膜が周辺へ飛散する速度に応じて、被加工膜の所定位置における加工速度を変化させることを特徴とする。

【0011】また本発明は、基板上の感光性膜を所望パターンに露光した後に現像することにより変化する感光性膜の形状を予測する形状シミュレーション方法において、前記感光性膜の所定位置における潜像強度又は感光剤濃度の空間平均量に応じて、被加工膜の所定位置における加工速度を変化させることを特徴とする。

【0012】ここで、感光剤濃度とは、光照射による感光性膜の感光量で光照射量に比例したものであり、より具体的には光照射による分解・結合反応により組成変形を起こした割合を意味している。また、本発明の望ましい実施態様として次のものがあげられる。

(1) 所定のパターンを基板上の感光性膜に露光するためのマスク設計方法及びマスクにおいて、上記のシミュレーション方法を用いること。

(2) 着目箇所に対して所定のマスク条件及び露光条件を選択し、本シミュレーション方法により着目箇所の寸法を求め、この値が許容値内ないときはマスク条件及び露光条件を再設定して再びシミュレーションを行い、着目箇所の寸法が許容値内に入るようにマスク条件及び露光条件を決定すること。

(3) 上記のシミュレーション方法をコンピュータ制御によって行うためのプログラムを、磁気ディスク、光ディスク、半導体メモリなどの記憶媒体に格納したこと。

（作用）本発明によれば、被加工膜の所定位置における単位時間当たりの加工量及びこの加工により被加工膜が周辺へ飛散する速度に応じて、被加工膜の所定位置における加工速度を変化させることにより、パターンが孤立しているか密集しているかに拘らず、被加工膜の形状を正確に予測することができる。そして、被加工膜としてレジスト（感光性膜）を用いた場合、現像後のレジストパターン形状を極めて精度良く計算することが可能となり、所定のプロセス裕度を持つような所望パターンを仕上げるための露光条件及びマスクパターンを容易に求めることが可能となる。

#### 【0013】

【発明の実施の形態】本発明の実施形態を説明する前に、図1から図3を用いて本発明の原理を説明する。図

1は現像途中でのレジスト断面図であり、密集パターン11と孤立パターン12が混在している。なお、図中の10は基板、13、14は密集パターン周辺の抜き部分、15、16は孤立パターン周辺の抜き部分、17は現像液、18は溶解したレジスト又は反応生成物、19はレジストを示している。

【0014】図2に示すように、孤立パターン22の周辺部（孤立パターン周辺の抜き部分25及び26）では光強度が大きく、反対に密集パターン21の周辺部（密集パターン周辺の抜き部分23及び24）では光強度が小さい。このため、孤立パターン周辺部25及び26に対応する部分での溶解速度は、密集パターン周辺部23及び24での溶解速度よりも速くなる。

【0015】図3には、孤立パターン周辺部25及び26及び密集パターン周辺部23及び24に対応する部分の残膜の現像時間依存性を示す。孤立パターン周辺部でのレジストの抜け時間 $t_i$ は、密集パターン周辺部での抜け時間 $t_d$ よりも小さい。従って、孤立パターン周辺部では、密集パターン周辺部よりも速くレジストが基板まで抜け、側壁を形成するための時間が長い。レジストが基板まで抜けるまでは、現像液へ溶解していくレジストの量が多い。溶解したレジストは現像液中を拡散していくが、単位時間当たりに溶解する量が多いため溶解部周辺での $\text{OH}^-$ 濃度は低下する。従って、 $\text{OH}^-$ 濃度が高い場合に比べ溶解速度が遅くなる。

【0016】その後、側壁を形成する段階になると、現像液へ溶解していくレジストの量が少なくなるため溶解速度は遅くならない。孤立パターンの周辺部での側壁形成時間（ $t_{\text{dev}} - t_i$ ）が密集パターン周辺部での側壁形成時間（ $t_{\text{dev}} - t_d$ ）より長い場合、孤立パターンでの仕上がり寸法が、現像過程で $\text{OH}^-$ 濃度の変化を無視した従来の方法による計算結果より細くなる。

【0017】以上の物理現象を微分方程式で記述し、これを解くことによってレジストパターン形状が予測される。そして本発明では、単位時間当たりの加工される被加工膜の量及び加工された被加工膜が周辺へ飛散する速度に応じて、被加工膜の加工速度を変化させることにより、任意のパターンピッチに対して、加工後の仕上がり形状を精度良く予測でき、所望パターンを得るためのマスクが容易に設計できる。

【0018】以下、本発明の詳細を実施形態によって説明する。

（第1の実施形態）図1を用いて本発明の第1の実施形態を説明する。図1は現像途中でのレジスト断面図であり、先にも説明したように密集パターン11と孤立パターン12が混在している。

【0019】レジストと現像液との界面の移動速度 $R(x, y, z, t)$ は、レジスト膜内での溶解抑止剤濃度 $M(x, y, z)$ と、レジストと現像液との界面付近での現像液中の $\text{OH}^-$ 濃度 $C(x, y, z, t)$ とに依

存する。溶解したレジストは現像液中を拡散していく。  
その拡散計数をDとすれば、濃度C (x, y, z, t)  
は次式を満たす。

$$\frac{\partial C(x, y, z, t)}{\partial t} = D \nabla^2 C(x, y, z, t) \quad \dots (1)$$

【0021】また、特開平6-176997号公報で知られているように、レジストの有無を表すプロファイル関数P (x, y, z, t) は、界面の移動速度を用いて

$$\frac{\partial P(x, y, z, t)}{\partial t} = R(x, y, z, t) |\nabla P(x, y, z, t)| \quad \dots (2)$$

ここで、移動速度R (x, y, z, t) は抑止剤濃度M (x, y, z) とOH<sup>-</sup> の濃度C (x, y, z, t) の関数である。即ち、次式のように表せる。

【0024】ここで、抑止剤濃度分布Mはレジスト膜内での光の照射分布E (x, y, z) の関数として求められる。(1) から (3) までを自己無撞着に解くことによって、現像後のレジスト形状が求められる。ここで、例えば (3) 式の具体的表現として、文献 (J. P. Huang, T. K. Kwei and H. Reiser: Macromolecules 1989, 22, p. 410 6-4112) から、

【0026】となる。ここで、 $\frac{R}{k} = k(1-M) \frac{C}{n}$  は反応次数で、k は定数である。従って、(1) 式～(4) 式を用いて、孤立パターンと密集パターンとが混在した場合の現像後の仕上がり寸法を正確に予測することができた。

(第2の実施形態) 図1～図4を用いて、本発明の第2の実施形態を説明する。第1の実施形態では、2つの微分方程式を自己無撞着に解くため計算時間がかかる。そこで本実施形態では、モデルを単純化することによって計算時間の短縮を図る。

【0027】前記図3に示すように、密集パターンより

$$G(x, y) = \int \int dx' dy' I(x, y) \exp[-\{(x-x')^2 + (y-y')^2\} / k^2]$$

【0029】ここで、I (x, y) は膜厚方向zで平均化したものである。図2に示すように、ポジ型レジストの場合、孤立パターンの周辺は光強度が強く、G (x, y) は大きい値をとる。一方、密集パターンではI (x, y) はピーク強度も孤立部より小さく、かつ周期

【0020】  
【数1】

次式を満たす。

【0022】  
【数2】

【0023】

【数3】

【0025】

【数4】

も孤立パターンの方が抜け時間が短い。また、側壁を形成するための時間が長い。抜け時間以降では、現像液へ溶け出すレジストの量は極端に減少するために周辺のOH<sup>-</sup> 濃度は上昇する。このため、溶解速度は速くなる。このようにして、孤立パターンの方が仕上がり寸法が細る。この効果を取り込むために次式のような空間平均を考える。

【0028】

【数5】

的に零付近まで強度が下がるために、G (x, y) は孤立パターンよりも小さくなる。そこで、γを正の定数として溶解速度を次式のように変調する。

【0030】

【数6】

$$\frac{R^-(x, y)}{R(x, y)} = 1 + \gamma [G(x, y) - G_0] \quad \dots (6)$$

【0031】ここで、R<sup>-</sup> (x, y) は露光量と溶解速度との関係から、レジスト膜内での光強度分布を溶解速度分布に変換したものである。R<sup>-</sup> (x, y) は変調後の溶解速度である。また、G<sub>0</sub> は定数である。(5) 式及び(6) 式から孤立パターンの周辺では溶解速度が速く、密集パターン周辺では遅くなる事が分かる。ネガ型レジストの場合にはγを負にとれば良い。

【0032】図4に、本実施形態における1次元パターンの場合の結果を示す。露光条件はλ=248nm, NA=0.6, σ=0.5でハーフトーン位相シフトマスクを用いた。1次元パターンは0.2μmのラインでピッチ依存性を計算したものである。また、k=0.25μm, γ=4.0, G<sub>0</sub>=0.267とした。従来の方法による結果を比べて示してある。ピッチが大きくなる

につれて従来法よりも線幅が細くなり、あるピッチ以上ではその差は飽和しているのが分かる。

【0033】図5及び図6を用いて、本実施形態における2次元パターンの場合について説明する。図5に示す孤立パターンと周期パターンとが混在するマスクパターンで露光した場合のレジストの仕上がり形状を計算する。露光条件は $\lambda=248\text{nm}$ 、 $\text{NA}=0.5$ 、 $\sigma=0.5$ 、 $\epsilon=0.67$ である。レジストにはポジ型を用いた。第1の実施形態と同様に、光強度分布はレジストの膜厚方向で平均化し、分布は2次元面内であるとす。 (5) 式及び (6) 式を用いて、溶解速度に変調を加えて、現像計算した結果を図6に示す。

【0034】図6には、従来の無変調の結果も重ねて示してある。孤立部分で寸法が細まっているのが分かる。また、周期パターンの端でもショートニングが起きているのが分かる。

(第3の実施形態) 図7を用いて、本発明の第3の実施形態を説明する。所望のマスクパターンの中で、デバイス形成上制限される箇所を着目箇所とする。この着目箇所を所望寸法に仕上げるためのマスクバイアス、補助パターン、マスクの種類(クロムマスク、ハーフトーン位相シフトマスク、レベソソ型位相シフトマスク)等のマスク条件、さらに開口数NA、コヒーレンスファクタ $\sigma$ 、光源形状 $\epsilon$ 等の露光条件の最適値を求める。

【0035】着目箇所(少なくとも2箇所)の所望寸法を $w_0$  ( $w_{01}$ ,  $w_{02}$ )、その許容裕度を $\delta$ とする。適当なマスク条件及び露光条件の初期値を設定し(S1)、その条件下でのレジスト膜内での光学像分布 $I(x, y, z)$ を計算し、膜厚方向で平均化する(S2)。そして、全面露光での溶解速度特性 $R(E)$ から溶解速度分布 $R(x, y)$ を求め、更にレジストの膜厚方向で平均化された光学像分布 $I(x, y)$ の空間平均をとり、この値 $G(x, y)$ に応じて、溶解速度を変調させる(S3)。

【0036】次に、変調された溶解速度 $R'(x, y)$ を用いて、現像後のレジストの形状を計算する(S4)。着目箇所の仕上がり寸法 $w$ を求め(S5)、所望寸法と比較を行う(S6)。所望寸法との差が寸法裕度以内になれば計算を終了し、そうでなければマスク条件及び露光条件を変えて(S7)、上記の計算プロセスを繰り返す行う。

【0037】このようにして本実施形態では、所定のレジストパターンを仕上げるためのマスク条件及び露光条件を正確に求めることができた。そしてこの場合、従来のように実際の露光を行い、仕上がったレジストパターンを電子顕微鏡等で観察し、所定のパターンになるまで実験を繰り返す必要がないため、所望パターンを得るためのマスクを容易に設計することが可能となる。

【0038】なお、本発明は上述した各実施形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で、種

々変形して実施することができる。実施形態では、光リソグラフィにおけるレジストの溶解現象を示したが、本発明は光リソグラフィに限定されるものではなく、電子線リソグラフィ又はX線リソグラフィ等での、ビーム強度と溶解速度との関係の知られているレジストの溶解現象にも適用できる。さらに、レジストの溶解現象に限るものではなく、エッチングにより加工される各種薄膜の形状シミュレーションに適用することが可能である。

【0039】また、実施形態に記載した手法は、コンピュータに実行させることのできるプログラムとして、磁気ディスク(フロッピーディスク、ハードディスクなど)、光ディスク(CD-ROM、DVDなど)、半導体メモリなどの記憶媒体に格納して頒布することもできる。

#### 【0040】

【発明の効果】以上詳述したように本発明によれば、被加工膜の所定位置における単位時間当たりの加工量及びこの加工により該被加工膜が周辺へ飛散する速度に応じて、該被加工膜の所定位置における加工速度を変化させることにより、パターンが孤立しているか密集しているかに拘らず、被加工膜の形状を正確に予測することが可能となる。特に、レジストに適用した場合、現像後のレジスト形状を正確に予測することができることから、所定のプロセス裕度をもつような所望パターンを仕上げるための露光条件及びマスクパターンを容易に求めることが可能となる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】第1及び第2の実施形態を説明するためのもので、現像途中のレジスト断面を示す図。

【図2】第1及び第2の実施形態で用いる光学像を示す図。

【図3】第1及び第2の実施形態で用いるレジスト残膜の現像時間依存性を示す図。

【図4】第2の実施形態で計算されたレジストの仕上がり寸法のパターンピッチ依存性を示す図。

【図5】第2の実施形態で用いるマスクパターンを示す図。

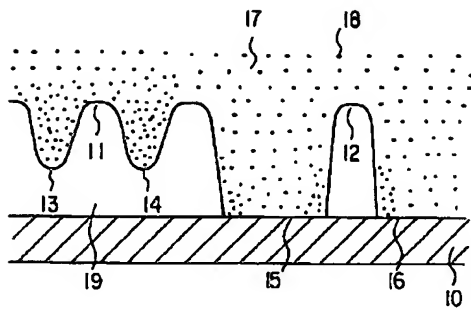
【図6】第2の実施形態で計算されたレジストの仕上がり形状を示す図。

【図7】第3の実施形態におけるマスク条件及び露光条件の最適化手順を示す図。

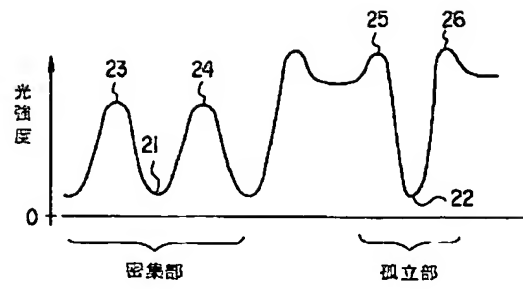
#### 【符号の説明】

- 10…基板
- 11, 21…密集パターン
- 12, 22…孤立パターン
- 13, 14, 23, 24…密集パターン周辺の抜き部分
- 15, 16, 25, 26…孤立パターン周辺の抜き部分
- 17…現像液
- 18…溶解したレジスト又は反応生成物
- 19…レジスト

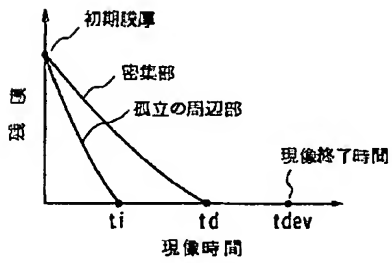
【図1】



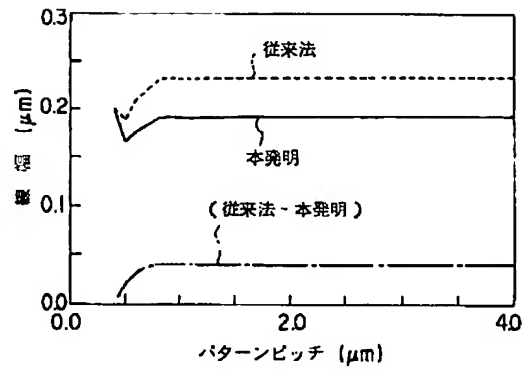
【図2】



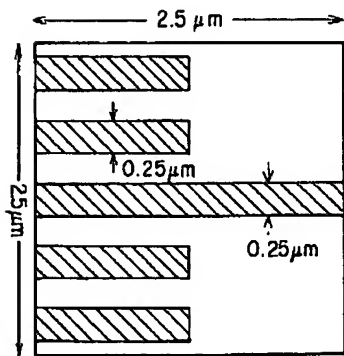
【図3】



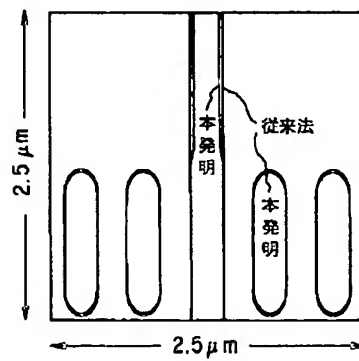
【図4】



【図5】



【図6】



【図7】

